

де  $R_{sh}$  – опір зрізу окремої шпонки;  $A_{sh}$  – площа зрізу;  $n$  – кількість шпонок.

Порівняння експериментальних даних теоретичної міцності М.М.Коровіна [1], Е.Горачека, В.І.Лішака, Д.Пуме [2], Н.Г.Мартінової [3] з наведеними вище нашими даними показало їх задовільну близькість.

1.Коровин Н.Н., Еськов В.С. Шпоночные стыки сборных железобетонных оболочек // Промышленное строительство. – 1966. – №8. – С. 25-29.

2.Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций/ Е.Горачек, В.И. Лишак, Д. Пуме и др.; Под ред. В.И. Лишака. – М.: Стройздат, 1980. – 192 с.

3. Мартынова Н.Г. Испытания на сдвиг вертикальных стыков монолитных стен со сквозными шпонками // Девятое координационное совещание «Эффективные конструкции и методы расчета несущих систем, элементов и узлов бескаркасных зданий: Тез. докладов. – Вильнюс, 1984. – С. 48-51.

4.Погрібний В.В. Урахування нерівномірності розподілу дотичних зусиль при розрахунках міцності багатощпонокових з'єднань // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.19. – К.: Техніка, 1999. – С. 50-54.

Отримано 16.05.2002

УДК 624.014

С.Ф.ПІЧУГІН, д-р техн. наук, В.О.СЕВЕРИН

Полтавський державний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

# **НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ПРИ ДІЇ КРАНОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Виконано аналіз надійності сталевих конструкцій, що знаходяться під впливом кранового навантаження, який дає можливість уточнити нормативні розрахунки, що проводяться під час реконструкції та перепрофілювання виробничих будівель та споруд.

В останні роки для будівельної галузі України характерним є збільшення обсягу реконструювання та перепрофілювання житлових, громадських та виробничих будівель та споруд, що пов'язано насамперед із структурною перебудовою економіки країни. Відомо, що розрахунки будівельних конструкцій будівель та споруд базуються на методі граничних станів, основною умовою якого є неперевикнення розрахунковим зусиллям в найбільш напруженому елементі конструкції  $Q_p$  розрахункового значення несучої здатності  $R_p$ . При цьому згідно з чинними нормами, імовірність безвідмовної роботи протягом терміну експлуатації не визначається. У зв'язку з цим неможливо з позицій надійності дати оцінку технічного стану конструкцій під час їх реконструкції (визначити остаточний строк служби конструкцій, імо-

вірності виникнення граничних станів і т.п.). У рамках даної проблеми розглянемо групу сталевих конструкцій виробничих будівель та споруд, для яких кранове навантаження є визначальним (підкранові конструкції, елементи каркаса промислових будівель, кранових естакад і т.п.). Вважаємо, що на сталеві конструкції діють постійне (1) навантаження і вертикальне (2) та горизонтальне (3) кранове навантаження.

Вертикальне навантаження від мостового крана на сталеві конструкції розглядаємо як нормальний стаціонарний випадковий процес [1]. Щодо горизонтального кранового навантаження треба відмітити наступне: основну частину горизонтального кранового навантаження складають бічні сили [2] – сили тертя поперечного ковзання коліс мостового крана по рейках, викликані цілим рядом причин: розбіжністю площин колеса крана і напрямку його переміщення внаслідок перекосу коліс та моста крана, відхиленням рейок від горизонталі, різницею діаметрів коліс. Вони виникають при дії мостових кранів незалежно від режиму їх роботи. Вважаємо, що горизонтальне кранове навантаження – це випадковий процес з ординатами, розподіленими за нормальним законом, і ефективною частотою, що дорівнює ефективній частоті вертикального кранового навантаження. Параметри сумарного навантаження на сталеві конструкції визначали з урахуванням кореляційної залежності між вертикальним і горизонтальним крановим навантаженням, при цьому коефіцієнт кореляції приймали в межах  $r_{\text{вг}} = 0,50$ .

Імовірність відмови сталевих елементів каркасу будівлі чи споруди при дії постійного, вертикального і горизонтального кранового навантажень за несучою здатністю за час експлуатації  $t$  визначаємо за формулою

$$Q(t) \approx N_+(t) = \frac{t}{\beta_{\omega(Y123)} \sqrt{2\pi}} K_{kp} \omega_e(Y123) f_{Y123}(\beta_{Y123}), \quad (1)$$

де  $\beta_{\omega(Y123)}$  та  $\omega_e(Y123)$  – відповідно коефіцієнт широкосмуговості та ефективна частота випадкового процесу резерву несучої здатності сталевих елементів каркасу будівлі  $f_{Y123}(\bullet)$  – щільність розподілу функції резерву несучої здатності;  $\beta_{Y123}$  – характеристика безпеки;  $K_{kp} = p_1 p_2$  – коефіцієнт, що враховує технологічні особливості роботи мостових кранів у прольотах виробничих будівель та споруд ( $p_1$  – імовірність перебування мостового крана в зоні впливу на конструкцію за умови його роботи;  $p_2$  – імовірність роботи мостового

крана).

Параметри формули (1) знаходимо згідно з рекомендаціями [1, 3, 4].

На основі проведених досліджень встановлено, що надійність сталевих елементів при дії багатоколісних мостових кранів у всіх випадках вища, ніж при дії 4-колісних мостових кранів. Крім того, великий вплив на надійність сталевих елементів має відношення  $X_{M1}/X_{M12}$  ( $X_{M1}$  та  $X_{M12}$  – відповідно нормативне навантаження від одного і двох мостових кранів). Найменшу надійність у кожній групі мають ті конструкції, для яких цей параметр наближається до одиниці. У міру зменшення значення відношення  $X_{M1}/X_{M12}$  надійність досить швидко зростає. Це підтверджують розрахунки надійності підкранових балок прольотів  $L_B = 6$  та  $12$  м, що розташовані в прольотах будівель з мостовими кранами різної вантажопідйомності та режиму роботи (табл.1). Виявлено, що підкранові балки прольотом  $6$  м мають меншу надійність, ніж  $12$ -метрові підкранові балки при рівнозначних параметрах завантаження (без урахування локальних напружень, втомленості та т.п.). Крім того, спостерігається значне підвищення надійності підкранових балок у міру зростання вантажної характеристики  $\eta$  мостових кранів. Проведені дослідження виявили недостатню надійність за несучою здатністю підкранових балок прольотом  $6$  м, тобто  $P(t) < [P(t)]$ . Особливо це стосується промислових будівель та споруд з 4-колісними мостовими кранами при режимах роботи 4К–6К: механічних та механоскладальних цехів, складів готової продукції підприємств будівельної індустрії, складів напівфабрикату, металозбуту і т.п. Для забезпечення необхідного рівня надійності в розрахунки за діючими нормами запропоновано вводити коефіцієнт рівнонадійності  $\gamma_P$ , що визначається як відношення сумарного розрахункового зусилля в сталевому елементі  $F_{[P]}$ , що забезпечує необхідний рівень надійності  $[P(t)]$  до сумарного розрахункового зусилля  $F_{(P)}$ , що забезпечує поточний рівень надійності  $P(t)$ :  $\gamma_P = F_{[P]}/F_{(P)}$ .

Значення коефіцієнтів рівнонадійності для сталевих підкранових балок прольотом  $6$  м (для підкранових балок вищезгаданих виробничих будівель та споруд) і  $12$  м (для підкранових балок складів металургійних підприємств з багатоколісними мостовими кранами режиму роботи 7К, 8К) відповідно знаходяться в межах  $1,000 - 1,103$  та  $0,732 - 0,855$  (див. табл.2).

Таблица 1 – Імовірність відмови сталевих підкранових балок прольотом 6 та 12 м при дії мостових кранів різного режиму роботи

№ п/п	Тип мостового крана	Режим роботи мостового крана	Імовірність відмови сталевих підкранових балок $Q$ ( $t=50$ років) прольотом $L_B = 6\text{м}/12\text{м}$ при прольоті цеху $L$ , м		
			24	30	36
1	30/5	4К – 6К	0.0271	0.1482	0.2734
			$2.852 \cdot 10^{-4}$	$1.673 \cdot 10^{-3}$	$3.490 \cdot 10^{-3}$
		7К	0.0024	0.0131	0.0259
			$1.861 \cdot 10^{-3}$	$1.101 \cdot 10^{-4}$	$2.371 \cdot 10^{-4}$
		8К	0.0091	0.0509	0.1016
			$7.276 \cdot 10^{-3}$	$4.305 \cdot 10^{-4}$	$9.284 \cdot 10^{-4}$
2	50/10	4К – 6К	0.0166	0.0634	0.1612
			$4.649 \cdot 10^{-4}$	$6.793 \cdot 10^{-4}$	$1.863 \cdot 10^{-3}$
		7К	$1.214 \cdot 10^{-3}$	$3.847 \cdot 10^{-3}$	0.0106
			$9.272 \cdot 10^{-6}$	$3.089 \cdot 10^{-5}$	$8.947 \cdot 10^{-5}$
		8К	$4.751 \cdot 10^{-3}$	0.0151	0.0414
			$9.628 \cdot 10^{-3}$	$1.209 \cdot 10^{-4}$	$3.501 \cdot 10^{-4}$
3	80/20	4К – 6К	$2.723 \cdot 10^{-4}$	$9.365 \cdot 10^{-4}$	$2.510 \cdot 10^{-3}$
			$2.046 \cdot 10^{-6}$	$7.368 \cdot 10^{-6}$	$2.067 \cdot 10^{-5}$
		7К	$2.594 \cdot 10^{-6}$	$6.799 \cdot 10^{-6}$	$1.376 \cdot 10^{-5}$
			$1.705 \cdot 10^{-8}$	$4.477 \cdot 10^{-8}$	$9.094 \cdot 10^{-8}$
		8К	$1.015 \cdot 10^{-5}$	$2.661 \cdot 10^{-5}$	$5.386 \cdot 10^{-5}$
			$6.672 \cdot 10^{-8}$	$1.752 \cdot 10^{-7}$	$3.599 \cdot 10^{-7}$
4	100/20	4К – 6К	$1.426 \cdot 10^{-4}$	$4.626 \cdot 10^{-4}$	$1.196 \cdot 10^{-3}$
			$1.050 \cdot 10^{-6}$	$3.551 \cdot 10^{-6}$	$9.528 \cdot 10^{-6}$
		7К	$1.376 \cdot 10^{-6}$	$3.566 \cdot 10^{-6}$	$7.315 \cdot 10^{-6}$
			$9.051 \cdot 10^{-9}$	$2.344 \cdot 10^{-8}$	$4.818 \cdot 10^{-8}$
		8К	$5.386 \cdot 10^{-6}$	$1.395 \cdot 10^{-5}$	$2.863 \cdot 10^{-5}$
			$3.542 \cdot 10^{-8}$	$9.174 \cdot 10^{-8}$	$1.885 \cdot 10^{-7}$
5	125/20	4К – 6К	$4.407 \cdot 10^{-5}$	$1.497 \cdot 10^{-4}$	$4.016 \cdot 10^{-4}$
			$3.146 \cdot 10^{-7}$	$1.105 \cdot 10^{-6}$	$3.062 \cdot 10^{-6}$
		7К	$4.694 \cdot 10^{-7}$	$1.325 \cdot 10^{-6}$	$2.904 \cdot 10^{-6}$
			$3.097 \cdot 10^{-9}$	$8.705 \cdot 10^{-9}$	$1.960 \cdot 10^{-8}$
		8К	$1.836 \cdot 10^{-6}$	$5.187 \cdot 10^{-6}$	$1.148 \cdot 10^{-5}$
			$1.212 \cdot 10^{-8}$	$3.410 \cdot 10^{-8}$	$7.596 \cdot 10^{-8}$
6	160/32	4К – 6К	$1.397 \cdot 10^{-4}$	$3.253 \cdot 10^{-4}$	$8.083 \cdot 10^{-4}$
			$1.428 \cdot 10^{-6}$	$3.409 \cdot 10^{-6}$	$8.740 \cdot 10^{-6}$
		7К	$3.232 \cdot 10^{-6}$	$7.081 \cdot 10^{-6}$	$1.627 \cdot 10^{-5}$
			$2.933 \cdot 10^{-8}$	$6.450 \cdot 10^{-8}$	$1.492 \cdot 10^{-7}$
		8К	$1.265 \cdot 10^{-5}$	$2.770 \cdot 10^{-5}$	$6.368 \cdot 10^{-5}$
			$1.148 \cdot 10^{-7}$	$2.524 \cdot 10^{-7}$	$5.839 \cdot 10^{-7}$
7	200/32	4К – 6К	$3.252 \cdot 10^{-5}$	$1.264 \cdot 10^{-4}$	$3.543 \cdot 10^{-4}$
			$3.208 \cdot 10^{-7}$	$1.289 \cdot 10^{-6}$	$3.726 \cdot 10^{-6}$
		7К	$7.801 \cdot 10^{-7}$	$2.822 \cdot 10^{-6}$	$7.405 \cdot 10^{-6}$
			$7.059 \cdot 10^{-9}$	$2.559 \cdot 10^{-8}$	$6.742 \cdot 10^{-8}$
		8К	$3.053 \cdot 10^{-6}$	$1.104 \cdot 10^{-5}$	$2.896 \cdot 10^{-5}$
			$2.762 \cdot 10^{-8}$	$1.001 \cdot 10^{-7}$	$2.639 \cdot 10^{-7}$

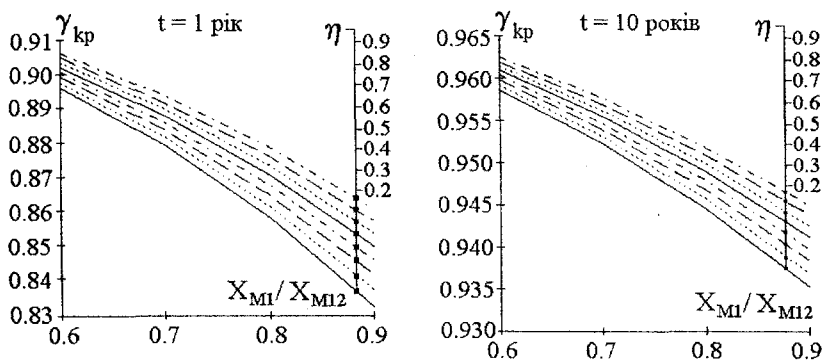
Таблиця 2 – Коефіцієнт рівнонадійності  $\gamma_p$  та узагальненої імовірності відмови сталевих підкранових балок

Режим роботи мостових кранів	Коефіцієнт рівнонадійності $\gamma_p$ / Узагальнена імовірність відмови підкранових балок при прольоті цеху $L$ , м		
	24	30	36
Підкранові балки прольотом 6м цехів з 4-колісними мостовими кранами			
4К – 6К	1.031 / 0.0271	1.085 / 0.1482	1.103 / 0.2734
7К	1.000 / 0.01	1.008 / 0.0131	1.035 / 0.0259
8К	1.000 / 0.01	1.047 / 0.0509	1.062 / 0.1016
Підкранові балки прольотом 12 м цехів з багатоколісними мостовими кранами			
4К – 6К	0.8134 / $2.04 \cdot 10^{-6}$	0.8179 / $7.37 \cdot 10^{-6}$	0.8551 / $2.06 \cdot 10^{-5}$
7К	0.7322 / $1.71 \cdot 10^{-8}$	0.7452 / $4.48 \cdot 10^{-8}$	0.7792 / $9.09 \cdot 10^{-8}$
8К	0.7610 / $6.67 \cdot 10^{-8}$	0.7659 / $1.75 \cdot 10^{-7}$	0.7864 / $3.59 \cdot 10^{-7}$

Важливим при реконструкції є питання зниження розрахункових значень навантажень від мостових кранів на сталеві конструкції в залежності від строку експлуатації  $t < T = 50$  років. Для цього пропонується враховувати зменшення розрахункового значення кранового навантаження шляхом введення коефіцієнта  $\gamma_{kp} = F(T = t) / F(T = 50 \text{ років})$ , визначеного з умови рівнонадійності конструкції за періоди  $T$  та  $t$ :  $P(T = 50 \text{ років}) = P(t)$  (тут  $F(T = 50 \text{ років})$  та  $F(T = t)$  – відповідно розрахункове кранове навантаження на сталеві конструкції зі строком експлуатації  $T = 50$  років та  $T = t$ ). Основними факторами, що впливають на значення коефіцієнта  $\gamma_{kp}$ , є період експлуатації конструкції  $t$ , режим роботи мостового крана, його вантажна характеристика  $\eta$ , ступінь впливу кранового навантаження на конструкцію, що враховується коефіцієнтом  $K_{kp}$ , та відношення  $X_{M1} / X_{M12}$ . Для практичного використання за отриманими даними були побудовані групи кривих, що описують зміну коефіцієнта  $\gamma_{kp}$  залежно від зміни кожного з факторів (див. рисунок) [2, 5]. З рисунка видно, що значення коефіцієнта  $\gamma_{kp}$  зростає в міру збільшення періоду експлуатації  $t$ , вантажної характеристики  $\eta$  та зменшення відношення  $X_{M1} / X_{M12}$ .

Таким чином, аналіз надійності сталевих конструкцій, що знаходяться під впливом кранового навантаження, дає можливість уточнити нормативні розрахунки, які проводяться під час реконструкції та пере-

профільовання виробничих об'єктів.



Коефіцієнт зниження розрахункового кранового навантаження  $\gamma_{kp}$   
для терміну експлуатації  $t$

1. Pichugin S. Analysis of Bridge Crane Loads on Industrial Buildings // XLIV Konf. Naukowa KILIW PAN i KN PZITB "Krynica 1998". – Tom VII. – Poznan – Krynica: Politechnika Poznanska. – 1998. – P. 41 – 47.

2. Пичугін С.Ф. Надійність сталевих конструкцій виробничих будівель: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. – К.: КГТУСА, 1994. – 32 с.

3. Пичугін С.Ф., Северин В.О. Оцінка надійності сталевих елементів під дією кранового навантаження, представленого у вигляді абсолютних максимумів // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. работ ОГАСА. – Одесса: Город мастеров, 2001. – С. 56-64.

4. Пичугін С.Ф., Северин В.О. Питання частотного аналізу випадкових навантажень на будівельні конструкції // Зб. наук. праць "Галузеве машинобудування, будівництво". Вип. 6. Ч.2. – Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 2000. – С. 64-67.

5. Северин В.О. Імовірнісний розрахунок сталевих конструкцій на сумісну дію випадкових навантажень: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 2001. – 19 с.

Отримано 17.05.2002

УДК 624.954.012.45

Г.А.МОЛОДЧЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

## РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕН ЕМКОСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Вопросы регулирования напряженно-деформированного состояния железобетонных стен емкостных сооружений рассматриваются с позиций практической реализации и повышения эксплуатационной надежности.